



Borsa di studio attivata ai sensi di quanto disposto dal D.M. n. 1061 del 10/08/2021

Titolo del progetto: Approccio multicriterio per l'ottimizzazione di processi per la costruzione di strade verdi

La borsa sarà attivata sul seguente corso di dottorato accreditato per il XXXVII ciclo:

INFRASTRUTTURE E TRASPORTI

Responsabile scientifico: Giuseppe Loprencipe

Area per la quale si presenta la richiesta: GREEN

Numero di mensilità da svolgere in azienda: 12

Numero di mensilità da svolgere all'estero: 6 presso Faculty of Transport and Traffic Engineering - University of Beograd, Serbia

Azienda: Saxa Green S.p.A.

Il Dipartimento è disponibile a cofinanziare per un importo pari a euro: 10000

Dipartimento finanziatore: DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE con delibera del 22.09.2021

Progetto di ricerca:

Il quinto rapporto di valutazione edito dall'Intergovernmental Panel on Climate Change evidenzia che le attività umane stanno cambiando il sistema climatico e che il riscaldamento globale è inequivocabile [1]. Secondo lo stesso documento, su scala globale la temperatura superficiale media aumenterà di almeno 0,61°C entro il XXI secolo rispetto al 1850-1900. Inoltre, le ondate di calore saranno più frequenti nella maggior parte delle terre emerse e il livello medio globale del mare potrebbe salire di circa 0,45-0,82 m a causa dell'espansione termica degli oceani e dello scioglimento di ghiacciai e calotte glaciali [2]. Gli eventi calamitosi conseguenti ai citati processi richiedono opportune misure di contrasto [3]: nel 2013 l'UE ha adottato la Strategia in materia di adattamento ai cambiamenti climatici, che include azioni per avere reti di trasporto resistenti agli attuali e futuri impatti dei cambiamenti climatici [4]. I principali eventi meteorologici che condizionano il regolare esercizio delle infrastrutture sono le ondate di calore e le inondazioni, che possono essere gestite con specifici materiali della pavimentazione stradale [5]. Soluzioni opportunamente progettate possono contrastare le isole di calore urbane (UHI) dovute a eventi di calore estremo e ridurre le conseguenze degli eventi estremi di precipitazioni intense e concentrate: le sovrastrutture permeabili sono una strategia di controllo e calmierazione dei due fenomeni [6]. A tal fine, il Decreto sui Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici richiede pavimentazioni "fredde" (es. pietre chiare, calcestruzzo permeabile, grigliati inerbiti) per prevenire UHI (e allagamenti) [7].

Gli aspetti ambientali dei materiali da costruzione e della costruzione di infrastrutture stradali sono oggetto di crescente attenzione per applicare criteri di aggiudicazione ambientale nei bandi di gara e attuare gli appalti pubblici verdi (GPP) in questo settore [8]. A livello europeo, sono stati fatti diversi sforzi per applicare il GPP al settore stradale: in Svezia gli aspetti ambientali sono integrati nei contratti di manutenzione stradale [9-11]; in Finlandia vengono affidati appalti con l'obiettivo di ridurre l'impatto ambientale delle strade [12]; nei Paesi Bassi il GPP è stato implementato per gestire la rete stradale principale [13]. In Italia il Ministero della Transizione Ecologica sta recependo i "Criteri dell'UE per gli appalti pubblici verdi per la progettazione, costruzione e manutenzione stradale" pubblicati nel 2016 per incoraggiare l'acquisto di prodotti, servizi e lavori a impatto ambientale ridotto [14]. Vengono proposti quattro criteri per valutare gli impatti di una strada: Life Cycle Impact Assessment (LCIA), Carbon footprint (CF), contenuto di riciclato o riutilizzato e Riduzione delle emissioni dovute al trasporto di materiali pesanti. I criteri elencati hanno livelli

decescenti di ambizione e complessità tecnica: in letteratura i framework più frequentemente adottati sono LCIA e CF. LCIA consente una valutazione olistica degli impatti ambientali (es. acidificazione, eutrofizzazione, esaurimento abiotico e riscaldamento globale), mentre CF valuta solo la quantità totale di emissioni di gas serra: CF equivale a un'implementazione parziale di LCIA. Il contenuto di riciclato/riutilizzato e la riduzione delle emissioni dovute al trasporto di materiali pesanti si concentrano rispettivamente sull'uso di materiali riciclati, recuperati o sottoprodotti e sulle emissioni di CO2 dal trasporto di aggregati. Questi ultimi due approcci sono alternativi a LCIA e CF e si consiglia di combinarli per ottenere un beneficio ambientale complessivo.

In accordo con gli obiettivi ambientali dell'UE e gli sforzi internazionali per contrastare gli effetti del cambiamento climatico, il progetto mira ad affrontare tali aspetti nel settore stradale. Opportuni materiali e tecnologie possono difatti mitigare le criticità evidenziate nelle pavimentazioni stradali tradizionali (es. pavimentazioni in conglomerato bituminoso) in particolare nelle aree urbane dove le isole di calore sono frequenti e fino all'80% di superficie è impermeabile. La ricerca sarà focalizzata sulle pavimentazioni modulari in materiale lapideo non tradizionale. Le pavimentazioni in pietra, infatti, sono tra quelle "fredde" più efficaci perché realizzate con materiali (di solito naturali), prevalentemente di colore chiaro, e messe in opera con schemi di posa che possono garantirne la permeabilità (dovuta ai vuoti tra i blocchi). Tali superfici modulari sono perciò sia riflettenti sia permeabili. Le pavimentazioni in pietra artificiale oggetto dello studio sono costituite da un gres composto fino al 30% di ceneri da rifiuti urbani. Le loro prestazioni saranno confrontate con quelle di pavimentazioni tradizionali con pari vita utile.

In particolare, il progetto è composto da sette pacchetti di lavoro (WP):

- WP1: caratterizzazione fisica e meccanica (es. resistenza a compressione, modulo elastico, coefficiente di Poisson, resistenza agli oli, coefficiente di aderenza);
- WP2: analisi agli elementi finiti della risposta strutturale alle azioni termiche e del traffico;
- WP3: analisi delle prestazioni acustiche;
- WP4: LCIA secondo la norma EN 15804:2012+A2:2019 Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products attraverso un opportuno software;
- WP5: analisi delle proprietà termiche e studio delle prestazioni in termini di temperatura dell'aria e comfort attraverso un opportuno software;
- WP6: analisi delle prestazioni illuminotecniche attraverso un opportuno software;
- WP7: life cycle cost analisi rispetto ai costi di costruzione e manutenzione durante la vita utile.

I risultati degli approcci quantitativi proposti saranno riassunti attraverso una metodologia multicriterio per identificare l'opzione migliore al variare delle condizioni di progetto (es. processo di produzione e costruzione, condizioni meteorologiche, traffico, sottofondo).

L'interpretazione dei risultati consentirà di identificare e modificare i processi più impattanti, al fine di sviluppare una politica di GPP.

Cronoprogramma

I anno

- analisi dello stato dell'arte
- redazione di review paper per rivista indicizzata
- prove di laboratorio su materiale oggetto di studio

II anno

- modello e analisi agli elementi finiti
- analisi delle prestazioni acustiche
- life cycle analysis

- modello e analisi termica

III anno

- modello e analisi illuminotecnica
- applicazione della metodologia multicriterio
- redazione di articolo scientifico per rivista indicizzata

Bibliografia

1. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2014: Synthesis Report; Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Core Writing Team, Pachauri, R.K., Meyer, L.A., Eds.; IPCC: Geneva, Switzerland, 2014.
2. Paltsev, S.; Monier, E.; Scott, J.; Sokolov, A.; Reilly, J. Integrated economic and climate projections for impact assessment. *Clim. Chang.* 2015, 131, 21–33.
3. Cooter, E.; Eder, B.K.; Rosenzweig, C.; Lynn, B.; Goldberg, R.; Knutson, C.; Hayes, M.; Wilhite, D.; Decarolis, J.; Barnett, T. Effects of Climate Change on Weather and Water; Air & Waste Management Association: Pittsburgh, PA, USA, 2005; pp. 32–35.
4. European Commission. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. An EU Strategy on Adaptation to Climate Change; COM/2013/0216; European Commission: Brussels, Belgium, 2013.
5. Moretti, L.; Loprencipe, G. Climate Change and Transport Infrastructures: State of the Art. *Sustainability* 2018, 10, 6.
6. Moretti, L.; Di Mascio, P.; Fusco, C. Porous Concrete for Pedestrian Pavements. *Water* 2019, 11(10), 2105. 10.3390/w11102105.
7. Italian Ministry of the Environment. Adozione dei Criteri Ambientali Minimi per l'Affidamento di Servizi di Progettazione e Lavori per la Nuova Costruzione, Ristrutturazione e Manutenzione di Edifici per la Gestione dei Cantieri della Pubblica Amministrazione e Criteri Ambientali Minimi per le Forniture di Ausili per l'Incontinenza; Italian Ministry of the Environment: Rome, Italy, 2015.
8. Parikka-Alhola, K.; Nissinen, A. Environmental Impacts of Transport as Award Criteria in Public Road Construction Procurement. *Int. J. Constr. Manag.* 2012, 12, 35–49.
9. Faith-Ell, C. The Application of Environmental Requirements in Procurement of Road Maintenance in Sweden. Ph.D. Thesis, KTH Land and Water Resources Engineering: Stockholm, Sweden, 2015.
10. Faith-Ell, C.; Balfors, B.; Folkesson, L. The application of environmental requirements in Swedish road maintenance contracts. *J. Clean. Prod.* 2006, 14, 163–171.
11. Varnäs, A.; Balfors, B.; Faith-Ell, C. Environmental consideration in procurement of construction contracts: Current practice, problems and opportunities in green procurement in the Swedish construction industry. *J. Clean. Prod.* 2009, 17, 1214–1222.
12. Procurement Strategy of the Finnish Road Administration, 2003. Edita Prima Oy, Helsinki. Available online: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/133234/tie1673.pdf?sequence=1>.
13. Versteeg, H. Netherlands' experience with sustainable procurement in road construction. International Road Federation. In Proceedings of the IRF Environment Study Day—GPP & Technology Advancements in the Road Sector, Brussels, Belgium, 20 September 2011.
14. Italian Ministry of the Environment. Adozione dei Criteri Ambientali Minimi per l'Affidamento di Servizi di Progettazione e Lavori per la Nuova Costruzione, Ristrutturazione e Manutenzione di Edifici per la Gestione dei Cantieri della Pubblica Amministrazione e Criteri Ambientali Minimi per le Forniture di Ausili per l'Incontinenza; Italian Ministry of the Environment: Rome, Italy, 2015.

Titolo del progetto (inglese): Multicriteria approach to optimize strategies for green road pavements

Progetto di ricerca (inglese):

The results of the Fifth Assessment Report (AR5) edited by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) show that human activities are changing the global climate system and the warming of the climate system is unequivocal [1]. This document shows that for global-scale analysis the mean surface temperature will increase by at least 0.61 °C within the XXI century in respect to the period 1850-1900. In addition, extreme heat events (e.g., heat

waves) will be more frequent on most emerging lands and the average global sea level may rise to a range of 0.45 to 0.82 m due to the increased heating of the oceans and mass loss from glaciers and ice caps [2]. Therefore, calamitous events as consequence of weather and climatic processes raise the need to foresee adaptation measures to climate change, which is already in place [3]. This concern has led the European Union to adopt in 2013 the EU Strategy on adaption to climate change: it includes action to have more resilient and climate-proof transport infrastructures [4]. Having regard to the main climate change challenges which interfere with transport infrastructures, heat waves and flooding can be managed by proper road pavement materials [5]. They can counter urban heat islands (UHI) due to extreme heat events (EHE) and reduce the consequences of the “flash flood” phenomenon: permeable solutions give answer to both issues [6]. At this purpose, the Italian Decree on Minimum Environmental Criteria requires “cool” pavements (e.g., white stones, permeable concrete blocks, paving grids for grass parking lots) to prevent UHI (and flooding) [7].

Moreover, in the recent years environmental aspects related to building materials and road infrastructure construction have increasingly come under examination in order to apply environmental award criteria in calls for tender and implement the green public procurement (GPP) in this sector [8]. At European level, several efforts have been made to apply GPP to the road sector: in Sweden, environmental aspects are integrated in road maintenance contracts [9-11]; in Finland, procurement methods are implemented to reduce the environmental impacts of roads [12]; in the Netherlands, GPP has been implemented to manage the main road network [13]. Currently, the Italian Ministry of the Environment is transposing the meaning of the document “Green Public Procurement Criteria for Road Design, Construction and Maintenance” published in 2016 by the European Union to encourage purchasing products, services and works with reduced environmental impacts [14]. Four criteria are proposed to assess the life cycle impacts of road construction: Life Cycle Impact Assessment (LCIA), Carbon footprint (CF), recycled and re-used content, and Low emissions from transport of heavy materials. The listed criteria have decreasing levels of ambition and technical complexity: in the literature the most frequently adopted frameworks are LCIA and CF. LCIA is a holistic assessment tool which considers different environmental impacts (e.g., acidification, eutrophication, abiotic depletion, and global warming), while CF only assesses the total amount of greenhouse gas emissions of road processes: CF is the result of a partial LCIA implementation. Recycled and re-used content and low emissions from transport of heavy materials focus respectively on the content of used recycled, re-used or by-products materials, and CO₂ emissions from the transportation of aggregates. These last two approaches are alternatives to LCIA and CF, and it is recommended to combine both in order to achieve an overall environmental benefit.

According to the EU environmental objectives and international efforts to counter climate change effects, the project aims to summarize the climate change and the environmental issues to identify materials and technologies that can mitigate the key problems related to traditional road pavements (e.g., asphalt pavements) especially in urban areas where UHI are frequent and up to 80% surface are impermeable. The main research activities will deepen on innovative stone pavers. Indeed, stone pavements are among the most effective cool ones: they are made of stone materials, mainly of light color, and their laying pattern ensures permeability due to voids between blocks: modular stone pavements are both reflective and permeable. The analyzed stone pavement are made of a porcelain composed of up to 30% of ash from urban waste; they will be considered having regard to a comparative approach that takes into account traditional pavements with the same service life.

Particularly, the core of the project is composed of seven working packages (WPs):

- WP1: mechanical and physical properties (e.g., compressive strength, elastic modulus, Poisson ratio, resistance to oil, coefficient of friction);
- WP2: structural analysis of the road pavement under traffic and thermal loads using a finite element software;
- WP3: noise performance;
- WP4: life cycle impact assessment according to EN 15804:2012+A2:2019 Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products using a proper environmental software;
- WP5: analysis of thermal properties and performance in order to assess air temperature and human comfort using a proper dynamic simulation tool;

- WP6: luminance performance in terms of illumination required to satisfy the current standard using a proper calculation software;

- WP7: life cycle cost analysis having regard to construction and maintenance costs during the service life.

The unbiased and comparable results from the proposed quantitative approaches will be summarized with a modular methodology to identify the best option under different conditions (e.g., manufacturing process, weather, traffic, subgrade, and construction method).

The interpretation of the results allows the identification of the majority of impacting processes, in order to reduce their burdens and to develop an environmentally aware public procurement policy.

Research timelines

1st year

- Literature search on the existing frameworks of green road pavements
- draft review paper to be published in scientific international peer-reviewed journals
- laboratory tests on the innovative material

2nd year

- Finite element analysis
- Noise performance assessment
- life cycle impact assessment
- thermal model and analysis

3rd year

- lighting model and analysis
- proposal for a multicriteria methodology
- draft research paper to be published in scientific international peer-reviewed journals
- thesis writing

Reference

1.Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2014: Synthesis Report; Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Core Writing Team, Pachauri, R.K., Meyer, L.A., Eds.; IPCC: Geneva, Switzerland, 2014.

2.Paltsev, S.; Monier, E.; Scott, J.; Sokolov, A.; Reilly, J. Integrated economic and climate projections for impact assessment. *Clim. Chang.* 2015, 131, 21–33.

3.Cooter, E.; Eder, B.K.; Rosenzweig, C.; Lynn, B.; Goldberg, R.; Knutson, C.; Hayes, M.; Wilhite, D.; Decarolis, J.; Barnett, T. Effects of Climate Change on Weather and Water; Air & Waste Management Association: Pittsburgh, PA, USA, 2005; pp. 32–35.

4.European Commission. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. An EU Strategy on Adaptation to Climate Change; COM/2013/0216; European Commission: Brussels, Belgium, 2013.

5.Moretti, L.; Loprencipe, G. Climate Change and Transport Infrastructures: State of the Art. *Sustainability* 2018, 10,

6.Moretti, L.; Di Mascio, P.; Fusco, C. Porous Concrete for Pedestrian Pavements. *Water* 2019, 11(10), 2105. 10.3390/w11102105.

7.Italian Ministry of the Environment. Adozione dei Criteri Ambientali Minimi per l’Affidamento di Servizi di Progettazione e Lavori per la Nuova Costruzione, Ristrutturazione e Manutenzione di Edifici per la Gestione dei Cantieri della Pubblica Amministrazione e Criteri Ambientali Minimi per le Forniture di Ausili per l’Incontinenza; Italian Ministry of the Environment: Rome, Italy, 2015.

8.Parikka-Alhola, K.; Nissinen, A. Environmental Impacts of Transport as Award Criteria in Public Road Construction Procurement. *Int. J. Constr. Manag.* 2012, 12, 35–49.

9.Faith-Ell, C. The Application of Environmental Requirements in Procurement of Road Maintenance in Sweden. Ph.D. Thesis, KTH Land and Water Resources Engineering: Stockholm, Sweden, 2015.

10. Faith-El, C.; Balfors, B.; Folkesson, L. The application of environmental requirements in Swedish road maintenance contracts. *J. Clean. Prod.* 2006, 14, 163–171.
11. Varnäs, A.; Balfors, B.; Faith-El, C. Environmental consideration in procurement of construction contracts: Current practice, problems and opportunities in green procurement in the Swedish construction industry. *J. Clean. Prod.* 2009, 17, 1214–1222.
12. Procurement Strategy of the Finnish Road Administration, 2003. Edita Prima Oy, Helsinki. Available online: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/133234/tie1673.pdf?sequence=1>.
13. Versteeg, H. Netherlands' experience with sustainable procurement in road construction. International Road Federation. In Proceedings of the IRF Environment Study Day—GPP & Technology Advancements in the Road Sector, Brussels, Belgium, 20 September 2011.
14. Italian Ministry of the Environment. Adozione dei Criteri Ambientali Minimi per l'Affidamento di Servizi di Progettazione e Lavori per la Nuova Costruzione, Ristrutturazione e Manutenzione di Edifici per la Gestione dei Cantieri della Pubblica Amministrazione e Criteri Ambientali Minimi per le Forniture di Ausili per l'Incontinenza; Italian Ministry of the Environment: Rome, Italy, 2015.